



HAL
open science

Bruits et nuisances acoustiques des tirs de mines

Laurent Duchesne

► **To cite this version:**

Laurent Duchesne. Bruits et nuisances acoustiques des tirs de mines. PRACTIR'98, Jun 1998, Nice, France. <ineris-00972131>

HAL Id: ineris-00972131

<https://ineris.hal.science/ineris-00972131v1>

Submitted on 3 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

**BRUITS ET NUISANCES
ACOUSTIQUES DES TIRS
DE MINES**

L. DUCHESNE

INERIS

Laboratoire des Substances Explosives
(LSEV)

B.P. 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

**Séminaire PRACTIR 98,
Nice, 2 au 5 juin 1998**

Résumé/Descriptif

Ces dernières années, de nombreux travaux ont été effectués sur les vibrations émises par les tirs de mines dans l'environnement. Pourtant, le bruit est un autre facteur important dans la perception de ces tirs par l'homme. Après un rappel des notions fondamentales sur les ondes sonores, nous abordons la manière de mesurer et d'analyser les bruits ainsi que les propriétés particulières des bruits impulsionsnels provenant des tirs de mines.

I. LES ONDES SONORES

A. DEFINITIONS

Les ondes sonores sont des variations de pression produites par la perturbation mécanique d'un fluide. On peut les répartir en deux catégories principales, selon que les forces agissant sur le milieu dépassent ou non sa limite d'élasticité :

- les ondes acoustiques et vibrationnelles dont l'intensité est suffisamment faible pour que les limites élastiques ne soient pas dépassées,
- les ondes de choc et les autres sons impulsifs qui dépassent les limites élastiques et qui nécessitent des techniques d'étude spécialisées, sur le plan théorique comme sur le plan expérimental.

Dans le cas des tirs de mines, nous sommes confrontés aux deux types d'ondes, la sollicitation créant une onde de choc dans l'air qui s'amortit très vite pour laisser place à des ondes acoustiques de faibles intensités.

B. PROPAGATION

Une perturbation soudaine, telle que l'explosion d'une charge d'explosif, pousse l'air qui se trouve près de l'objet perturbateur. Comme l'air a une masse et une élasticité, il résiste et se comprime. Cet air comprimé se dilate alors en poussant dans toutes les directions l'air qui l'entoure. L'air avoisinant se trouve à son tour comprimé et forme une enveloppe d'air comprimé à une faible distance de la perturbation initiale. La dilatation de l'air dans cette enveloppe crée à son tour une autre enveloppe, plus éloignée, et ainsi de suite.

Ainsi, on peut regarder une onde sonore comme une enveloppe d'air comprimé en dilatation. Les couches d'air successives sont comprimées-décomprimées au fur et à mesure que l'onde s'éloigne de la source perturbatrice, mais chaque molécule d'air prise individuellement ne bouge que d'une faible distance vers l'extérieur puis vers l'intérieur.

Pour rappel, à température normale d'une pièce (fixée par convention à 20°C), la vitesse du son dans l'air est de 344 m/s.

C. ANALYSE D'UNE ONDE SONORE

1. SONS PURS ET ONDES SINUSOIDALES

Un son pur est simplement un son dans lequel la pression de l'air varie de manière sinusoïdale en fonction du temps, c'est-à-dire une onde sinusoïdale.

Une onde sinusoïdale est une fonction mathématique jouissant de propriétés spécifiques et importantes. En mathématique, on peut représenter toute variation périodique de la pression de l'air en fonction du temps comme une somme de composantes sinusoïdales.

La forme d'une onde sinusoïdale est complètement décrite par trois paramètres : l'amplitude, la période et la phase.

2. ANALYSE DE FOURIER

Le mathématicien français François-Marie Charles Fourier (1771- 1837) inventa un type d'analyse mathématique qui permet de prouver que toute onde périodique peut être décomposée en une somme d'ondes sinusoïdales ayant une amplitude, une fréquence et une phase appropriées. De plus, les fréquences de ces ondes s'obtiennent d'une manière simple : elles sont des multiples entiers d'une même fréquence $f(\dots)$, $2f(\dots)$, $3f(\dots)$, etc.

La représentation de Fourier d'une onde complexe peut nécessiter un très grand nombre, voire un nombre infini de composantes. Toutefois, pour approcher une onde avec la précision souhaitée, un nombre plus restreint de composantes peut suffire.

3. LES BRUITS IMPULSIONNELS

Le sonogramme A de la figure 1 montre une brève impulsion ou éclatement de la pression, que l'on perçoit comme un bruit sec. La partie B montre que les composantes sinusoïdales de cette impulsion forment une large bande de fréquences. La partie C montre une impulsion dont la variation d'amplitude est plus longue dans le temps. Cette impulsion ressemblera plus à un choc sourd qu'à un claquement sec. La partie D montre que son spectre comporte une bande de fréquences plus étroite.

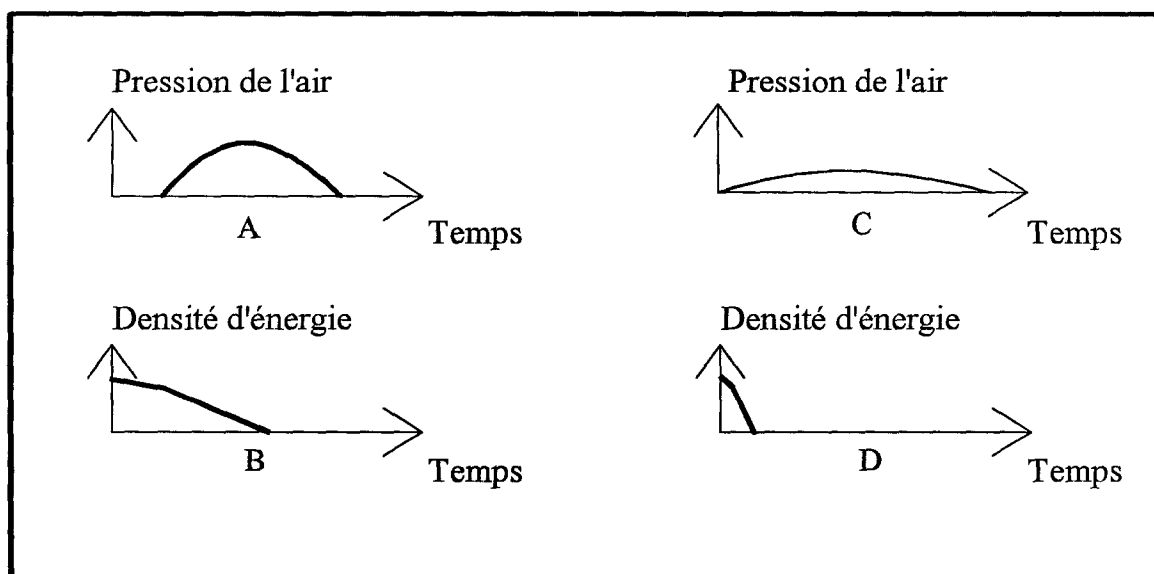


Figure 1

II. METHODE DE QUANTIFICATION DU BRUIT

A. ECHELLE DE DECIBELS

L'utilisation des décibels (dB) n'est pas limitée au domaine acoustique. En fait, il s'agit d'une notation logarithmique particulièrement commode pour chiffrer des grandeurs amenées à varier sur une très large plage (plusieurs puissances de 10), ce qui est très souvent le cas en acoustique. De plus, la réponse physiologique des hommes est également logarithmique.

Il suffit de remarquer que les pressions acoustiques peuvent varier entre $2 \cdot 10^{-5}$ et 10^2 N/m², et que les puissances rayonnées peuvent aller de 10^{-9} à 10^5 W, pour montrer à l'évidence qu'une échelle linéaire serait d'un maniement peu commode.

Considérons le rapport x/x_0 , où x est une grandeur ayant les dimensions d'une puissance, et où x_0 est une grandeur de référence, dans les mêmes unités. Ce rapport, exprimé en décibels s'écrit : $10 \log_{10} (x/x_0)$

Des conventions internationales fixent les grandeurs de référence pour les mesures acoustiques. Ces références sont basées sur les seuils de détection physiologique des hommes :

- Puissance acoustique : 10^{-12} W (watt)
- Intensité acoustique: 10^{-12} W/m² (watt/m²)
- Pression sonore : $2 \cdot 10^{-5}$ N/m² (Newton/m² ou Pa)

Le niveau de puissance acoustique (NPA), le niveau d'intensité (NI) et le niveau de pression sonore (NPS) sont alors définis comme la valeur en décibel du rapport de la grandeur mesurée à la grandeur de référence. Le tableau ci-dessous donne les grandeurs pratiques correspondantes. La colonne centrale du tableau 1 donne le niveau de pression sonore en dB, référé à $2 \cdot 10^{-5}$ N/m².

Pression acoustique	Niveau de pression acoustique en dB	Environnement correspondant
10^3	134	seuil de la douleur
10	114	marteau pneumatique
1	94	intérieur du métro
10^{-1}	74	bruit de circulation à un croisement
10^{-2}	54	bureau moyen
10^{-3}	34	bibliothèque
10^{-4}	14	studio d'enregistrement
10^{-5}		seuil d'audibilité

Tableau 1

Pour choisir ces grandeurs de référence, on est parti d'un niveau physique commode, la pression acoustique de référence de $2 \cdot 10^{-5}$ N/m², qui est à peu de choses près, à la fréquence de 1000 Hz, la pression la plus faible qui peut être discernée par un homme jeune doué d'une bonne audition. L'intensité de référence a ensuite été choisie de façon à ce que le niveau d'intensité et le niveau de pression sonore soient numériquement à peu près égaux pour une onde plane et une onde sphérique dans l'air à la température ambiante et à la pression normale.

Le niveau de puissance de référence a été choisi de façon à s'exprimer simplement en fonction de la pression acoustique de référence, quand l'aire de la surface de mesure est exprimée en mètres carrés.

Dans de nombreux cas, il est nécessaire d'additionner des niveaux en dB. Pratiquement, il faut additionner les puissances, c'est-à-dire exprimer des grandeurs en dB sous forme de rapports, que l'on additionne ou soustrait suivant les cas, et que l'on reconvertit en dB.

Par cette méthode, on vérifie facilement que la somme de deux rapports égaux chacun à 70 dB, que ce soit le NPA, le NI ou le NPS, est égale à 73 dB. On notera que la somme de deux niveaux qui diffèrent de plus de 10 dB est suffisamment proche du plus élevé de ces deux niveaux pour qu'il soit permis de négliger le niveau inférieur.

III. MESURE D'UNE ONDE SONORE

A. MICROPHONES

1. GENERALITE

Pour la plupart des mesures acoustiques, on désire mesurer la pression existant en l'absence de l'appareil de mesure. C'est le rôle du microphone en espace libre, qui doit être placé dans le champ de mesure avec un minimum d'accessoires, pour éviter les réflexions parasites et les distorsions spatiales du champ à mesurer.

2. LA SENSIBILITE DU MICROPHONE

Elle dépend de l'angle d'incidence : il faut donc prendre soin de le diriger autant que possible vers la source principale. Quand le champ acoustique est diffus, il devient difficile, sinon impossible, de diriger le microphone vers une source principale.

Lors de mesures à l'extérieur ou à l'intérieur, quand l'air est animé d'une vitesse suffisante, il produit des bruits parasites lorsqu'il entre en contact avec le microphone. Les trois principales causes directes du bruit sont : les variations de vitesse de l'air, les turbulences qui prennent naissance autour du corps du microphone et enfin les interférences entre les variations de pression acoustique dues aux turbulences et aux différences de vitesse.

3. CHOIX DES MICROS

Nous pouvons citer parmi les micros existants les dynamiques à bobine mobile, les dynamiques à ruban, les électrostatiques, les micros à électret, les cardioïdes, les supercardioïdes ... Toutefois, ce sont les micros à bobine mobile qui sont les plus courants et les plus classiques. Ils sont constitués d'une membrane reliée à une bobine de cuivre placée dans l'entrefer d'un aimant, ils sont robustes, fiables, économiques et ne nécessitent pas d'alimentation électrique.

4. MONTAGE DU MICROPHONE

Le montage du microphone peut entraîner des erreurs de mesure si on n'accorde pas une attention suffisante aux problèmes correspondants d'environnement. Par exemple, à cause de l'inertie du diaphragme sensible, les vibrations du microphone peuvent provoquer un niveau de bruit anormal qui dépend de la direction des vibrations. L'effet est évidemment maximum quand l'axe de vibration coïncide avec l'axe du microphone.

Il est en général facile d'évaluer l'influence des vibrations en mesurant le niveau de bruit parasite en l'absence de signal. Les ondes sonores réfléchies par l'expérimentateur ou par les objets environnants peuvent également causer d'importantes erreurs de mesure. L'influence du corps de l'expérimentateur passe par un maximum aux alentours de 400 Hz ; les erreurs correspondantes peuvent atteindre 6 dB, si l'expérimentateur est à proximité immédiate du microphone.

C'est pourquoi il est généralement conseillé de se placer au minimum à un mètre derrière le microphone. Le matériel de mesure doit être placé encore plus loin. Quand une extrême précision est nécessaire, le microphone doit être assez éloigné de l'amplificateur de mesure et de

l'expérimentateur, ce qui est toujours possible pourvu qu'on utilise un câble rallonge entre le microphone et l'appareil de mesure. Les réflexions provenant des murs ou des autres objets fixes constituent en général un problème plus difficile à résoudre ; elles peuvent entraîner d'importantes perturbations, quand on étudie des sons purs, à cause des phénomènes d'interférences. Il faut donc autant que possible éviter toute mesure à proximité des murs, surtout lorsqu'ils sont parallèles et donnent naissance à un système d'ondes stationnaires.

B. ENREGISTREURS

1. SONOMETRES

Ce sont des appareils permettant la mesure du niveau sonore en dB ou dB acoustiques. Ils sont fiables et précis mais agissent généralement comme des détecteurs crêtes et ne stockent pas la totalité du signal. La lecture de l'information se fait généralement directement sur l'appareil. Ils sont bien adaptés aux mesures de terrain.

2. SISMOGRAPHES

La plupart des sismographes sont équipés d'une voie permettant l'enregistrement de la surpression aérienne. Ces appareils numériques possèdent une fréquence d'échantillonnage faible (1000 à 2000 Hz) pour les modèles standards. Ils sont largement suffisants pour une estimation du niveau sonore maximal mais peuvent être limités pour des analyse en fréquence. La lecture de l'information se fait généralement directement sur l'appareil ou sur un micro-ordinateur par la suite. A noter qu'ils sont robustes et adaptés à une utilisation de terrain.

3. PC + CARTE SON

La plupart des micro-ordinateurs aujourd'hui peuvent être équipés d'une carte son permettant l'acquisition d'une source sonore. La fréquence d'échantillonnage élevée (20 000 à 44 000 Hz sur 16 ou 32 bits) les rend très performants pour la mesure des bruits. Elle nécessite néanmoins l'utilisation d'un logiciel spécialisé pour la mesure et l'exploitation des résultats. Le matériel n'est généralement pas étudié pour une utilisation de terrain et il est relativement fragile.

IV. CAS DES TIRS DE MINES

A. INTRODUCTION

Les recherches effectuées pendant les deux dernières décennies ont montré que les effets sur l'environnement des bruits provoqués par les tirs de carrière peuvent souvent dépasser les effets de la vibration des sols. Ceci est particulièrement vrai à des distances éloignées de plus de 500 m du tir de carrière.

Tandis que depuis de nombreuses années la prévision et le contrôle des vibrations supportées par les sols sont solidement établis, il n'en est pas de même pour les ondes aéroportées provoquées par les tirs de carrière, ce qui reflète les difficultés associées à la mesure et à la caractérisation de l'onde sonore, ainsi qu'à la prévision de son schéma de propagation et à la compréhension de ses effets sur les hommes et sur les biens.

B. CARACTERISATION ET MESURE DE L'ONDE SONORE

La figure 2 montre une forme d'onde produite par un tir de carrière. L'onde s'élève rapidement et dure une seconde environ. La répartition de la fréquence est indiquée par la figure 3 et met en évidence que la plus grande partie de l'énergie se trouve dans une gamme de basse fréquence inférieure à 10 Hz. Ces fréquences se situent nettement au-dessous de la gamme sensible à l'oreille humaine.

Une onde sonore de cet ordre ne peut se mesurer convenablement en utilisant un compteur ordinaire du niveau sonore avec un temps de réponse "lent" et un filtre de pondération de fréquence "A".

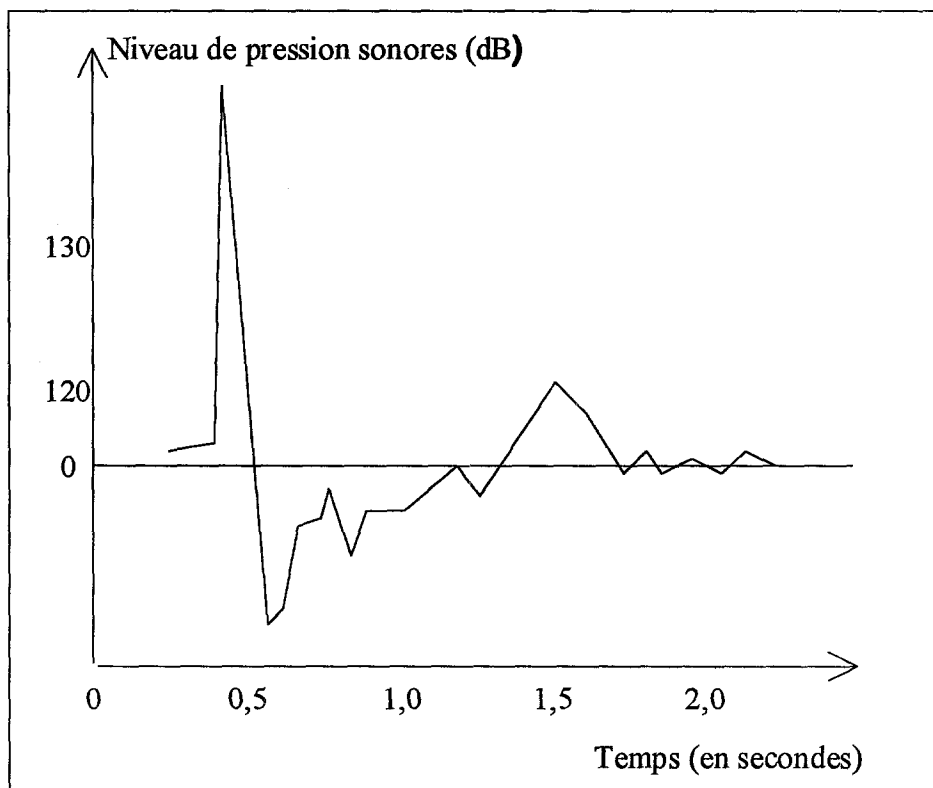


Figure 2

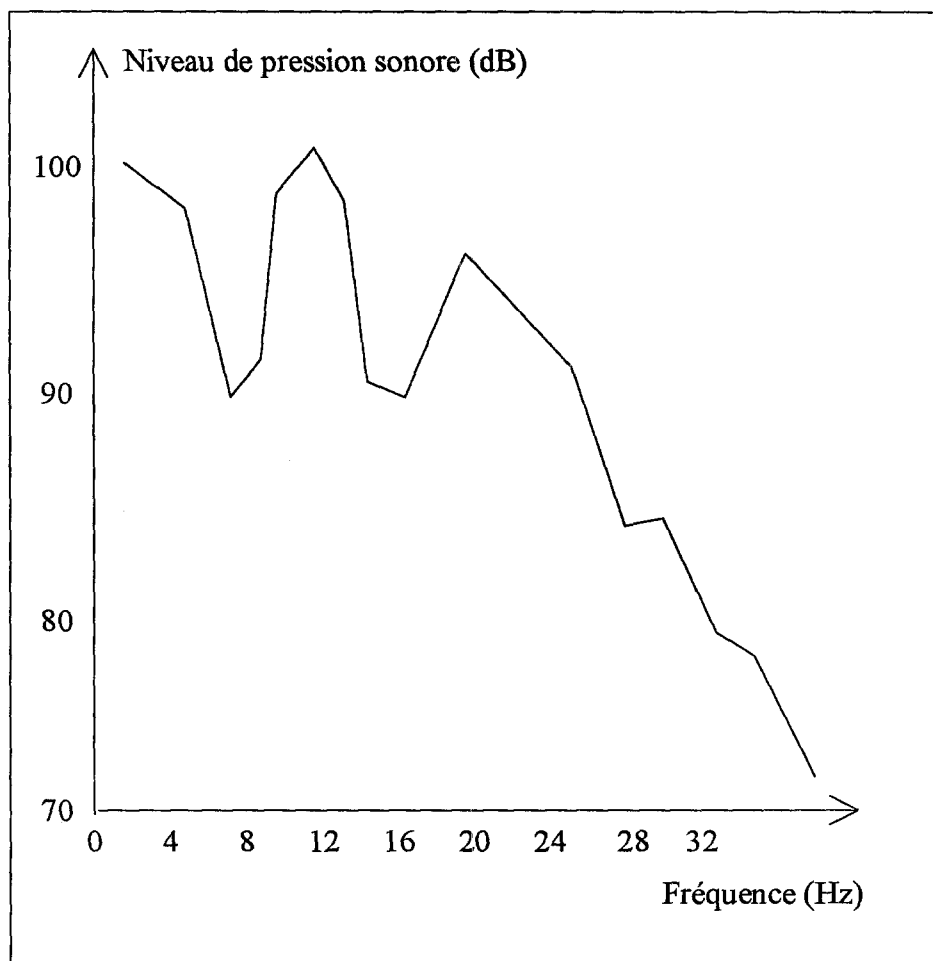


Figure 3

C. PROPAGATION DU SON

L'aspect le plus curieux du son provenant d'un tir de carrière est peut-être sa variabilité. Elle tend à s'accroître selon la distance. Des changements sensibles peuvent se manifester de jour en jour et même d'heure en heure. L'amplitude de cette variabilité est fréquemment sous-estimée mais il faut en tenir compte dans l'examen des effets du son sur l'environnement.

Les trois principaux facteurs atmosphériques qui influencent la propagation du son sont la direction du vent, la vitesse du vent et la température de l'air ainsi que leur variation selon l'altitude. Ces trois facteurs modifient la vitesse du son relativement à l'observateur et provoquent une réfraction du son - c'est-à-dire une modification de l'orientation des rayons sonores. Ils peuvent causer des zones d'ombres (en général dans le vent), des zones de renforcement (en général en vent arrière) et des zones focales. Les zones focales peuvent se situer en vent arrière, en vent de côté ou dans le vent. Les prévisions indiquent qu'elles existent, grosso modo, dans 10 % de la durée et qu'elles se situent généralement à des distances éloignées de 3 à 4 km de la source.

D. DIRECTIVITE

Bien que les ondes sonores se propagent uniformément dans toutes les directions de l'espace en champ libre et dégagé, lorsqu'il existe des obstacles ceux-ci peuvent canaliser ou disperser les ondes.

Dans le cas de tirs de mines effectués sur zone présentant des fronts de taille, la zone face au front de taille est une zone privilégiée pour la propagation. Cependant la présence d'autres fronts de

taille voisins ou de tout autre type d'obstacle peut réfléchir l'onde sonore et la renvoyer dans une direction complètement différente.

E. INTERFERENCES

Un tir de mine étant constitué d'une succession de charges d'explosif détonant selon une séquence de mise à feu précise, l'onde sonore enregistrée en un point est la superposition de l'ensemble des ondes sonores émises par le tir.

Ce phénomène, appelé interférence, se traduit dans la pratique (*du fait de la disposition des charges dans l'espace et de la séquence de mise à feu*) par des zones géographiques autour du tir où la surpression aérienne est renforcée (interférences constructives).

F. PUISSANCE

Les tirs de mines mettent en œuvre, selon l'objectif à atteindre en terme d'abattage, des quantités d'explosif variables qui peuvent aller de quelques kilogrammes à plusieurs tonnes selon les cas. Le niveau de surpression aérienne serait une fonction directe de cette quantité si ces charges explosaient à l'air libre. Or, fort heureusement, ce n'est pas le cas.

Des mesures acoustiques effectuées lors de tirs de mines montrent que l'on peut classer les tirs en trois grandes catégories au regard de la surpression aérienne sans que la quantité d'explosif mise en jeu intervienne de manière prépondérante.

1. Les tirs ne présentant aucune quantité d'explosif à l'air libre et se déroulant sans anomalie (pas de bourrage qui lâche, pas de projection, ...).
2. Les tirs ne présentant aucune quantité d'explosif à l'air libre et se déroulant avec des anomalies (bourrage qui lâche, projections, ...).
3. Les tirs présentant une quantité d'explosif à l'air libre (tir d'abattage amorcé par du cordeau détonant en surface, tir sans bourrage, pétardage, anglaise, ...).

A distance identique face au tir, le niveau de surpression aérienne va croissant de catégorie 1 à 3.

A 150 mètres face au tir, en champ libre, les valeurs moyennes suivantes ont été observées.

CATEGORIE DE TIR	DISTANCE	dB crête linéaire
N° 1	150 m	100
N° 2	150 m	115
N° 3	150 m	140

G. REACTIONS DES BATIMENTS AUX SONS PROVOQUES PAR DES TIRS DE CARRIERE

L'onde de pression de l'air provenant des tirs de carrière peut susciter d'importants niveaux de vibration dans les bâtiments. Vers 120 dB (linéarité de pointe), les fenêtres et les portes peuvent trembler. A 130 dB (linéarité de pointe), on peut percevoir une forte vibration des planchers en bois. A ce niveau sonore, la vibration de la maçonnerie est probablement perceptible mais reste très inférieure à tous les critères de détérioration. La manifestation de détérioration superficielle - comme des fissures du plâtre et des vitres fendues - a été observée très diversement, de 133 à

165 dB (linéarité de pointe). Cette gamme étendue reflète différentes approches quant au problème et à l'utilisation de critères différents.

H. REACTIONS HUMAINES AUX SONS PROVOQUEES PAR LES TIRS DE CARRIERE

On admet en général qu'une mise en garde préalable diminue la réaction physique vis-à-vis d'un stimulus impulsif. C'est ainsi que l'utilisation de signaux acoustiques de mise en garde et un horaire régulier des tirs réduiront vraisemblablement le nombre de plaintes.

L'attitude de l'exploitant de la carrière en face des plaintes peut également influencer les réactions de la communauté locale envers les effets du tir. Il est essentiel d'entretenir de bonnes relations avec les plaignants, d'expliquer les faits concernant les tirs et leurs effets sur l'environnement et, en général, de montrer qu'on prend cette question au sérieux.

La réaction humaine au son provoqué par un tir de carrière est généralement plus forte à l'intérieur d'un bâtiment qu'à l'extérieur. A première vue, c'est assez inattendu car toute construction abaisse le niveau sonore. Il peut y avoir trois explications : en premier lieu, les effets perçus du tir seraient considérés comme une intrusion fâcheuse dans l'intimité du foyer. Deuxièmement, l'onde sonore provoquant la vibration de certaines parties du bâtiment peut causer des bruits secondaires comme le tremblement des portes et fenêtres. Troisièmement, et c'est peut-être le point le plus important, le plaignant peut sincèrement redouter que les vibrations perçues, et qui peuvent lui sembler très importantes, endommagent le bâtiment.

I. PROBLEMES RENCONTRES LORS DE MESURE EN CARRIERE

La mesure de la surpression aérienne générée lors d'un tir de mines est relativement difficile à réaliser de manière fiable et répétitive. La principale difficulté vient du caractère impulsionnel de la surpression qui empêche le réglage des appareils avant son émission comme il est possible de le faire avec des bruits continus. En outre, la grande dynamique des amplitudes mesurées (90 - 143 dB) rend les appareils à calibre manuel difficiles à utiliser du fait de la faible amplitude des calibres de mesure (en général +/- 10 dB).

Les appareils numériques enregistrant la totalité du signal avec seuil de déclenchement sont relativement bien adaptés à ces mesures. Ce sont les seuls qui permettent de réaliser systématiquement la mesure. Cependant le problème des gains (calibres) manuels reste entier.

L'analyse en fréquence des différents enregistrements montre que les spectres de fréquences présentent des dominantes en fréquence entre 0 et 300 Hz, ce qui permet d'effectuer des enregistrements corrects avec des fréquences d'échantillonnage relativement faibles (2 à 3 kHz).

V. CONCLUSIONS

Du fait du caractère fortement impulsionnel de l'émission sonore des tirs de mines, la mesure est difficile à effectuer dans le sens où il faut saisir l'information au moment opportun et que celui-ci n'est pas répétitif. Il faut donc disposer d'appareils possédant un seuil de déclenchement pour ne pas rater la mesure.

Les appareils à calibre fixe et borné sont difficiles à utiliser. Les appareils à calibre continu, réglés sur un fort calibre (150 dB), pourront bien évidemment enregistrer les sons de faible amplitude (100 dB) mais, dans ce cas, celui-ci apparaîtra avec très peu de résolution ou sera même imperceptible. Réglés sur un calibre faible (120 dB), ils saturent si l'amplitude du signal est supérieure et la mesure est donc perdue. Toutefois, l'utilisation de deux sonomètres permet de couvrir une plage de 40 dB.

Les appareils à gain automatique conviennent très bien pour ce type de mesure impulsionnelle à forte dynamique mais sont malheureusement rares.

De plus, l'exploitant d'une carrière n'oubliera pas que les réactions humaines envers les effets sonores provoqués par le tir représentent un facteur essentiel. En cherchant à développer des relations franches avec les plaignants, ces problèmes pourront être traités sur une base plus réaliste qu'émotionnelle.

VI. BIBLIOGRAPHIE

Les mesures de bruits impulsionnels - Etudes et recherches - Henry SCORY - Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec - Avril 1993.

Progrès récents dans la mesure de l'intensité acoustique - Centre Technique des Industries Mécaniques - Senlis - 30/09 au 02/10/81.

The environmental effects of sound from quarry blasting - J.A.H OATES, G. KERRY, D.J. SAUNDERS et A.G. SILLS - 5th International Lime Congress - Paris 1982.